

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-008096

(43)Date of publication of application : 12.01.1996

(51)Int.Cl.

H05H 1/46

(21)Application number : 07-150204

(71)Applicant : BOC GROUP INC:THE

(22)Date of filing : 16.06.1995

(72)Inventor : DE FRANCESCO FRANK

(30)Priority

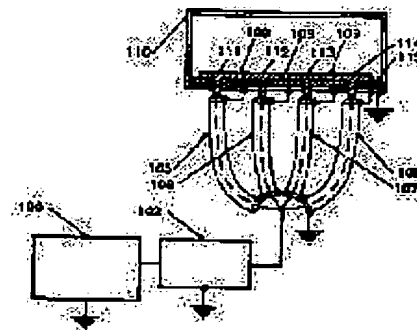
Priority number : 94 263283 Priority date : 21.06.1994 Priority country : US

(54) IMPROVED POWER DISTRIBUTION FOR MULTIPOLAR PLAZMA SYSTEM USING QUATER WAVELENGTH TRANSMISSION LINE

(57)Abstract:

PURPOSE: To produce an active electrode area having the uniform plasma characteristics on a surface of an electrode, by making a length of a separative transmission line which connects a matching network and plural powered electrodes, almost equal to that of a quater wavelength transmission line.

CONSTITUTION: In the case of four-electrode, the output of a matching network 102 fed by an RF power source 100, is fed to the quater wavelength coaxial lines 105-108 which distribute the power to the segmentized electrodes of the sections 111-114 of an earthed plasma reactor chamber 110. The electrodes are separated inside the reactor, at an interval 109 less than an interval of a dark space. A non-electrically conductive sheet 115 insulates the electrodes from a chamber wall, and supports the same, one edge of a shield of the coaxial lines is earthed on the chamber, and the other edge of the same is connected to a housing of the network 102. The operating characteristic of the electrode construction is that the uniform plasma is generated throughout the whole connected surface area of four electrode segments.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

*** NOTICES ***

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] It is the multi-electrode plasma reactor which is equipped with at least one separation transmission line connected between a reactor chamber, RF generator, the electric adjustment network connected to said RF generator, two powered electrodes or more arranged in said reactor chamber, and said adjustment network and each powered electrode, and is characterized by each transmission line having die length about equal to the quarter-wave length transmission line.

[Claim 2] The two or more transmission lines are multi-electrode plasma reactors according to claim 1 characterized by connecting with at least one electrode at juxtaposition.

[Claim 3] The die length of each transmission line is a multi-electrode plasma reactor according to claim 1 or 2 characterized by being in 5% of the die length determined experimentally [the quarter-wave length transmission line].

[Claim 4] The die length of each transmission line is a multi-electrode plasma reactor according to claim 1 or 2 characterized by being in 2% of the die length determined experimentally [the quarter-wave length transmission line].

[Claim 5] at least one transmission line -- a quarter-wave length line -- it is -- and at least one transmission line -- a 3/4-wave line -- it is -- the opposite pair of an electrode -- an electrical potential difference -- about 180 degrees -- a phase -- shifting -- **** -- between counterelectrodes -- the plasma -- difference -- a multi-electrode plasma reactor given in any 1 term of claim 1 to claim 4 characterized by exciting-like.

[Claim 6] At least two electrodes are multi-electrode plasma reactors given in any 1 term of claim 1 to claim 5 characterized by a gap sufficiently small in order to control formation of the plasma by inter-electrode dissociating.

[Claim 7] It has the 1st edge where each transmission line is electrically connected to said adjustment network at a common electrical installation point with other 1st edge of other transmission lines. Each transmission line It has the 2nd edge connected to one of the electrodes. Each transmission line The power allocation system which has the multi-electrode plasma reactor of a publication in any 1 term of claim 1 to claim 6 characterized by having the die length about equal to $\lambda(2N+1)/4$ which is $N=0, 1$ and 2 , and ..., and is the wavelength of the electrical potential difference on which λ has spread the inside of this transmission line.

[Claim 8] each electrode is in phase and carries out an electric power supply -- having -- and the die length of each transmission line -- $K=0$, and 1 and 2 -- formula which is ... Power allocation system which has the multi-electrode plasma reactor according to claim 7 characterized by being about equal to the value chosen from $K\lambda + \lambda/4$.

[Claim 9] each electrode is in phase and carries out an electric power supply -- having -- and the die length of each transmission line -- $L=0$, and 1 and 2 -- it is ... formula Power allocation system which has the multi-electrode plasma reactor according to claim 7 characterized by being about equal to the value chosen from $L\lambda + 3\lambda/4$.

[Claim 10] It is the approach of generating the rear-spring-supporter equal plasma to a big electrode surface relatively in a reactor chamber. Establish and fit in two or more powered electrodes in a reactor chamber, and a powered electrode is estranged so that the gap below the dark space gap to the plasma formation conditions of a reactor chamber may be generated between the edge parts which each powered electrode adjoins. The approach characterized by providing the phase which supplies power to each powered electrode through at least one quarter-wave length transmission line so that the equal plasma may be generated over the joint front face of all

electrodes.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]**[0001]**

[Industrial Application] This invention relates to RF power allocation device and the approach of using the quarter-wave length transmission line by which fitting was carried out to each of two or more powered electrodes (powered electrodes) so that the power to each electrode might be especially equalized by the electrode of a plasma reactor system about the device and approach of supplying power.

[0002]

[Description of the Prior Art] Multiple electrode (it is hereafter called multi-electrode for short) structure is advantageous in a big plasma reactor, in order to acquire the plasma equally excited in reactor volume. However, equal allocation of the energy to each electrode is not attained easily. These technical problems are U.S. Pat. No. 4,381,965 and the 4,664,890th. A number and the 4,887,005th It has discussed in the number. U.S. Pat. No. 4,381,965 and the 4,664,890th A number deals with the approach of equalizing a reactor electrode impedance through the reaction component which can be external adjusted that inter-electrode equal power allocation should be attained. One fault of this technique is only what equalizes an impedance on the single plasma conditions which have [power / a gas format, a pressure, temperature,] it. U.S. Pat. No. 5,077,499 takes into consideration maximizing power delivery effectiveness by short stub tuning or use of a lumped element so that it may adjust a reactor impedance in a transmission-line impedance well. Those accompanying power division (attendant power splitting) There is no multipolar suggestion which has the point at issue.

[0003]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] If, as for a plasma reactor chamber, the scale-up of the size is carried out, an electrode field will increase inevitably with the synthetic reduction in an electrode impedance. This mixes the difficulty of adjusting RF generator with a reactor chamber load, and produces the high resistance loss by the high current in an electrode supply line and an adjustment network as a result. In the reactor which has two or more powered electrodes, equalization of the power sent to each electrode element also becomes difficulty with the nonidentity impedance of an individual electric power supply line. In U.S. Pat. No. 4,887,005, Rough (rough) has described the approach of the power allocation which equalizes the power sent to a multi-electrode system. In N electrode reactor, this approach needs N-1 coil which consisted of binary tree structures to which all RF currents flow through the 1st coil which gets very hot and may need water cooling. The multiple level of a coil is needed with a certain power loss in each level to many electrodes. ; which is the parallel connection of the remarkable stray inductance from a long lead wire which needs the load seen from the adjustment network in all electrode impedances and a big reactor system -- so, all the electrode currents are totaled in an adjustment network. This description sometimes needs use and those accompanying costs of the high current component in an adjustment network. Another fault will be 2 Ns if it desires to distribute RF energy equally to all electrodes. An electrode is needed.

[0004] The purpose of this invention is offering the plasma reactor electrode structure which generates the big active electrode field which has a rear-spring-supporter equal plasma property in the magnitude of the front face of an electrode in view of the trouble of the conventional technique mentioned above.

[0005]

[Means for Solving the Problem] The above-mentioned purpose of this invention is equipped with at least one separation transmission line connected between a reactor chamber, RF generator, the electric adjustment network connected to RF generator, two powered electrodes or more arranged in a reactor chamber, and an

adjustment network and each powered electrode, and each transmission line is attained by the multi-electrode plasma reactor which has die length about equal to the quarter-wave length transmission line. The two or more transmission lines may consist of this inventions so that it may connect with at least one electrode at juxtaposition. The die length of each transmission line may consist of this inventions so that it may be in 5% of the die length determined experimentally [the quarter-wave length transmission line]. The die length of each transmission line may consist of this inventions so that it may be in 2% of the die length determined experimentally [the quarter-wave length transmission line]. this invention -- at least one transmission line -- a quarter-wave length line -- it is -- and at least one transmission line -- a 3/4-wave line -- it is -- the opposite pair of an electrode -- the phase of an electrical potential difference -- 180 degrees -- shifting -- between counterelectrodes -- the plasma -- difference -- you may constitute so that it may excite-like.

[0006] In order to control formation of the plasma by inter-electrode, at least two electrodes may consist of this inventions so that a sufficiently small gap may dissociate. The purpose of this invention mentioned above has the 1st edge where each transmission line is electrically connected to said adjustment network at a common electrical installation point with other 1st edge of other transmission lines. Moreover, each transmission line It has the 2nd edge connected to one of the electrodes. Each transmission line It is attained by the power allocation system equipped with the multi-electrode plasma reactor which are $N = 0, 1$ and 2 , and ..., and is the wavelength of the electrical potential difference on which λ has spread the inside of this transmission line and which has die length about equal to $\lambda(2N+1)/4$. in this invention, each electrode is in phase and carries out an electric power supply -- having -- and the die length of each transmission line -- $K = 0$, and 1 and 2 -- formula which is ... You may constitute so that about equally to the value chosen from $K\lambda + \lambda/4$. in this invention, each electrode is in phase and carries out an electric power supply -- having -- and the die length of each transmission line -- $L = 0$, and 1 and 2 -- formula which is ... You may constitute so that about equally to the value chosen from $L\lambda + 3\lambda/4$. Stem.

[0007] Furthermore, the purpose of above-mentioned this invention is the approach of generating the rear-spring-supporter equal plasma to a big electrode surface relatively in a reactor chamber. Establish and fit in two or more powered electrodes in a reactor chamber, and a powered electrode is estranged so that the gap below the dark space gap to the plasma formation conditions of a reactor chamber may be generated between the edge parts which each powered electrode adjoins. It is attained also by the approach of providing the phase which supplies power to each powered electrode through at least one quarter-wave length transmission line so that the equal plasma may be generated over the joint front face of all electrodes.

[0008]

[Function] In order to attain the equal plasma allocation in the plasma chamber which has a multiplex powered electrode, the optimized transmission line whose die length of each transmission line is odd times [one fourth of] the wavelength of the electrical potential difference which has spread the inside of the transmission line is used. The effectiveness of a big electrode of having rear-spring-supporter equal plasma allocation on the front face is generated by using two or more electrode segments by which an electric power supply is carried out with the quarter-wave length transmission line of the same die length. in order that an alternative example may make impedance matching easy -- each electrode -- the two or more transmission lines -- using -- and a counterelectrode configuration -- difference -- in order to excite-like, that which is odd times the quarter-wave length transmission line from which die length differs by $1/2$ wave of odd times is used. Probably, the above and other purposes, the description, and advantage of this invention will be clear from the following explanation of the desirable example which refers to two or more attached drawings.

[0009]

[Example] It is desirable to attain the equal plasma controlled over two or more powered electrodes (powered electrodes) within the plasma chamber. When such equal plasma is generated, that it should act as one big electrode which has the rear-spring-supporter equal plasma, it is constituted and two or more electrodes are sold to the whole field. This invention also attains convenient impedance conversion by supplying a current equal to each powered electrode by using the quarter-wave length transmission line which such two or more electrodes by which the electric power supply was carried out equally, and the electrode of the output of a standard adjustment network to a plasma reactor pass, respectively, and is emitted. The quarter-wave length transmission line is the transmission line which has die length equal to one fourth of the wavelength of the electrical potential difference which has spread the inside of the transmission line (it is (like a coaxial cable)). However, in this

application, the definition of an item "the quarter-wave length transmission line" is; i.e., the wavelength of an electrical potential difference which is generally $\lambda(2N+1)/4$, and has spread λ through a line here, extended so that the transmission line which has all the die length of the quarter of the wavelength of the electrical potential difference which has spread the inside of the transmission line equal odd times may also be included, and are $N=0, 1$ and 2 , and ... By equiphase (it is hereafter called an inphase), to two or more electrodes by which an electric power supply is carried out, generally, it follows $\lambda/4, \lambda+\lambda/4$, and that they are $k=0, 1$ and 2 , and ..., and the transmission-line die length which can be received should be understood $k\lambda+\lambda/4$, and here. In addition, inphase power allocation is similarly attained by using die length $3\lambda/4, \lambda+3\lambda/4$, and two or more transmission lines that generally have $L=0, 1$ and 2 , ... $L\lambda+3\lambda/4$, and here. the important description of inphase electrode power allocation is having equivalent die length about the phase of the electrical potential difference supplied to an electrode, respectively of the transmission line, and was mentioned above -- as -- the die length of such the transmission line -- the quarter-wave length transmission line -- it should be -- it is specified here. The following easy analyses are offered in order to prove the advantage matched with use of the quarter-wave length transmission line.

[0010] Quarter-wave length the non-lost transmission line changes load impedance Z_{load} in an end into Z_{char}^2 / Z_{load} by the other end. Here, Z_{char} is a transmission-line characteristic impedance. When it assumes that Z_{load} consists of complex impedance $x-jy$, the load which is showing in the transmission line is : [0011] which is as follows.

[Equation 1]

$$Z_{source} = \frac{Z_{char}^2}{Z_{load}} = \frac{Z_{char}^2}{x - jy} \quad \text{式 (1)}$$

It is : [0012], when it solves in order to obtain real part and imaginary part.

[Equation 2]

$$Z_{source} = \frac{Z_{char}^2}{x^2 + y^2} (x + jy) \quad \text{式 (2)}$$

The power supplied to the line if the electrical potential difference V was impressed to the edge by the side of opposite [of a line] (opposite) from the load is : [0013].

[Equation 3]

$$\begin{aligned} \text{Power} &= I^2 R = \left(\frac{V}{|Z_{source}|} \right)^2 \text{Re}(Z_{source}) \\ &= \frac{V^2}{|Z_{char}^2 \frac{(x+jy)}{x^2+y^2}|^2} Z_{char}^2 \frac{x}{x^2+y^2} \quad \text{式 (3)} \end{aligned}$$

Here, $\text{Re}(Z_{source})$ is the real number component of the changed load impedance. This is : [0014] simplified as follows.

[Equation 4]

$$\left(\frac{V}{Z_{char}} \right)^2 x \quad \text{式 (4)}$$

The power in a load edge is : [0015] equal to the power to the inside of the reverse (opposite) edge of a non-lost line which can write the following quality (quality) since it will not become if it kicks.

[Equation 5]

$$I_{load}^2 \times Z_{char} = \left(\frac{V}{Z_{char}} \right)^2 \times Z_{char} \quad \text{式 (5)}$$

Or [0016]

[Equation 6]

$$I_{load} = \frac{V}{Z_{char}} \quad \text{式 (6)}$$

Here, it turns out that it depends for the load current only on the electrical potential difference supplied to other edges of the transmission line, and the characteristic impedance of a line. Therefore, a common electrical-potential-difference node and the multiplex quarter-wave length transmission line which has one of the edge of that connected to the output of an adjustment network in this case supply all equivalent currents by those other ends independently with the impedance of termination. So, the difference of a supply line impedance to two or more electrodes has the minimum effectiveness in the power division into an electrode. Since a property plasma impedance is increased to a more convenient value to an adjustment network that the cost of this component of a system should be reduced in current stress and a power loss list, the impedance-conversion property of the quarter-wave length transmission line can be used. If power is sent to many electrodes without impedance conversion, as for the lead wire to the point distributing [common], the sum total of all the electrode currents will be conveyed. This is hundreds of A of RF current in a big system easily, and it deals in it. Accompanying loss and heating by it become a problem important for the designer of a system. However, the quarter-wave length transmission line has the impedance-conversion property mentioned above, namely, for an adjustment network, each is Z_{char}^2 / Z_{loadn} . It operates by the load which consists of a juxtaposition section of the line showing a load. Here, it is Z_{loadn} . It is RF impedance of the n-th electrode. If a transmission-line characteristic impedance is larger than the magnitude of the impedance of a load, effectiveness is increasing the impedance of the edge of the quarter-wave length transmission line which an adjustment network's supplies. This decreases a current and reduces the loss and heating in an adjustment network component. It turns out that it is required to choose the characteristic impedance of a line from the explanation mentioned above so that the increment in the magnitude of the load impedance seen in an adjustment network may be attained, in order to use impedance conversion. however -- if a too much big conversion rate is chosen -- the standing wave of the transmission line -- excessive -- becoming -- and -- otherwise, it is attained -- high loss is brought about as a result rather than I will come out. Moreover, the twist in which a network can accept the impedance of the parallel connection of the changed load can also become high. Real part (real part) cannot adjust the community "L" network used by the Prior art for a larger load than the source impedance of a generator. A transmission-line impedance is adjusted to extent by using the parallel multiplet line, and it deals in it. When used with this fashion, association acts as the one transmission line which has a characteristic impedance equal to the single line impedance divided by many lines.

[0017] The technique of dividing an active planar electrode with a big plasma reactor chamber into the array of the smaller electrode with which power is supplied according to an individual which approached extremely and has been arranged so that the front face of a desired active field may be formed also contains this invention. As these small plates were mentioned above, RF energy is supplied from much quarter-wave length transmission lines. Even if makes an invalid effect (effectiveness) which encounters when the individual field of an active electrode surface is restrained that an equivalent current should be shared and supplies power to the electrode of a big field by that cause and which was known well, namely, the advantage of this approach tends to be positioned to the fixed field to which an electrode has glow discharge and a discharge phenomenon has it in coincidence in other fields, I hear that it is only mere a few, and there is. This produces the non-uniformity of the processing covering the magnitude of a workpiece as a result. Effective use of the segmented electrode is below; (dark space gap), i.e., a 2 inter-electrode dark space gap, that needs a fully dense thing so that spacing between the adjoining electrode segments may prevent inter-electrode plasma formation. Even when the total electrode field is larger than it which can usually support equal glow discharge to Haruka, homogeneity is equal over the whole electrode using this approach of electrode segmentation (homogeneous uniform). Glow

discharge is attained. This approach by combination with the power allocation scheme mentioned above also has the water-cooled needlessness in the equal power allocation and high power (high power) effectiveness covering an electrode field, adjustment, and an allocation system, the ease of an assembly which has a critical non and assembly part, easy expandability, and the advantage of RF shielding demand which is not complicated while having the advantage which uses a single RF generator and a single AF-driving-power adjustment network. The desirable example of this invention is explained with reference to the drawing attached to below. [0018] Drawing 1 shows the high-frequency RF excitation plasma system of the general conventional technique. The RF generator 10 is grounded by 1 side 11, and, generally has the 50 ohms (omega) source impedance 12. The grounded plasma chamber 13 contains the powered electrode 14 which discharge generates in the meantime, and the grounded electrode 15. The plasma is a phantom (phantom) showing sheath electrostatic capacity and plasma resistance. A model can be electrically made as the shown series capacitor 16 and resistance 17. In order to combine maximum energy from a generator to a reactor, and to change a plasma load to a generator impedance, the adjustment network 18 is used. In a big electrode surface field, the equivalence plasma resistance 17 is 50 ohms or less, and an L type adjustment network is often used. This contains the input capacitor 19 and the serial inductance 20. Although the specific implementation and the topology of an adjustment network are not important, L rear rye ZESHON is used for them here for explanation. Drawing 2 shows the equivalent system which has the addition of the quarter-wave length section 25 linked to the output, the adjustment network 22, and the powered electrode 35 of a generator 21. The conversion effectiveness of the quarter-wave length line 25 (transforming effect); equal circuit explained by permuting the component of details 2a in an equal circuit is shown in drawing 3. In drawing 3 $R > 3$, a generator 40 is adjusted by the network 42 for the maximum-electric-power transfer to the equivalence load of details 2a expressed with the serial inductor 44 and resistance 45. : which can be solved as follows to equivalent resistance 45 using the notation specified as mentioned above if a formula (2) is used [0019]

[Equation 7]

$$\frac{Z_{\text{load}}^2}{x^2 + y^2} \times \text{または} \frac{Z_{\text{load}}^2}{|Z_{\text{load}}|^2} \times$$

An equivalent reactance 44 is this appearance.;

[0020]

[Equation 8]

$$\frac{Z_{\text{load}}^2}{x^2 + y^2} \times y$$

It comes out, it is, therefore since y is a forward amount, it is inductivity. Notation x and y correspond to the resistance 34 of details 2a, and the impedance of a capacitor 33. The rate of impedance conversion to the adjustment network output from a plasma load is the square of the rate (ratio) of the characteristic impedance of the transmission line to the magnitude of load impedance. The load of an impedance lower than a line brings about increase of the impedance changed in the adjustment network, and, so, produces reduction of the current in a network as a result. Since the changed load is inductivity here, in a certain case, the serial inductor of the adjustment network 42 needs to actually have negative or capacitive reactance, and is sold to it. This is easily attained in the general network where the inductor which can be aligned is emulated by a variable capacitor and the in-series fixed inductor.

[0021] Drawing 4 shows the example of four electrodes of this invention, and also expresses the segmented application of a big electrode which was mentioned above. The RF electric power supply (RF power source is called hereafter) 100 carries out feed of the adjustment network 102. The output of the adjustment network 102 carries out feed of the four quarter-wave length coaxial lines 105, 106, 107, and 108 which distribute power to the segmented electrode which consists of sections 111, 112, 113, and 114 of the grounded plasma chamber 110. The gap 109 between; i.e., the contiguity edge of a powered electrode, densely estranged inside the reactor in order that an electrode may function as a single big field electrode is below a dark space gap. The non-conductive sheet 115 insulates an electrode from a chamber wall, and supports. Shielding of a coaxial line is

grounded by the chamber by the end, and is connected to an adjustment network case by the other end. if RF power source assumes that power is generated in 13.56MHz -- the wavelength -- the inside of a vacuum -- about 72.6 feet (about 22.1m) (it is .) When RG217 coaxial cable which has 66% of phase-velocity reduction is used, the die length of one full wave in a coaxial cable is about 48 feet (about 14.6m), and the die length of the quarter-wave length transmission line is about 12 feet (about 3.7m). Using the structure shown in drawing 4 , four electrodes of 17 inch (about 43.2 centimeters) x18 inch (about 45.7 centimeters) magnitude are located in a line with about 0.1 inches gap by each inter-electrode one, and alignment of each is carried out, and the four 12 foot (about 3.7m) coaxial transmission lines are connected between an adjustment network and each of four electrodes. As [generate / by the whole joint surface field of four electrode segments 111, 112, 113, and 114 / as for the operating characteristic of this electrode configuration / the rear-spring-supporter equal plasma] [0022] Although drawing 5 is another example of the system shown in drawing 4 , it draws what uses the DC blocking capacitors 116, 117, 118, and 119 for each electrode in order to make the electrode according to each assume the auto-bias potential of itself. Giving that this prevents a workpiece and the abnormality discharge phenomenon in the chamber wall of the chamber of especially big size was found out. A suitable blocking capacitor is an American technical ceramic corporation (American Technical Ceramics Corporation) in New York State and Huntington Station (Huntington Station). They are the low loss of range of 2,000 to 10,000 picofarad like ceramic capacitor model ATC100E manufactured, and a high current RF capacitor. Drawing 6 shows use of the multiplex cable for obtaining the cable of a low characteristic impedance. Again, a generator 120 is adjusted by the load changed by the adjustment network 121. An adjustment network output is supplied to the plasma chamber 122 which has the division electrode 123 including sections 124 and 125. Power is supplied for power to an electrode 124 from the lines 126 and 127 of two parallel equal die length by the lines 128 and 129 of two equal die length also with this parallel [reception and an electrode 125]. In order to generate the example shown in drawing 6 , the detailed example shown and mentioned above to drawing 4 is changed into two 17x36 inch electrodes that the two 12 foot length coaxial transmission lines which supply power should be used.

[0023] the difference by which the metal reactor chamber 132 has been arranged at the insulating plates 135 and 136 although, as for drawing 7 , the generator 130 and the adjustment network 131 were constituted like [former] -- another alternative example which consists of electrodes 133 and 134 excited-like is shown. The output of the adjustment network 131 drives the two coaxial transmission lines (137 138), 137 in which one side has the die length of quarter-wave length, and 138 in which another side has 3/4 wave of die length. ;138, i.e., a line, as which it is specified here rather than a quarter-wave length line that the die length of the 3/4-wave transmission line is $\lambda/2$ of what is odd times longer is [$\lambda(2M+1)/2$] longer than a line 137. Here, they are $M=0, 1$ and 2 , and ... Since the die length of a 3/4-wave line is contained in an odd times as much set as a quarter-wave length line, a current share and its impedance-conversion property are equal. however, excessive half wave delay of a 3/4-wave line -- this example -- difference -- the phase shift of 180 degrees used since an electrode is driven-like is brought about. The specific example shown in drawing 7 uses the 2nd transmission medium which has the 1st transmission medium and die length of 36 feet which supply power, and which have die length of 12 feet for the opposite rectangle electrode of the magnitude whose each is 17 inch x18 inch using the specific power source and specific component which showed to drawing 4 and were mentioned above in the detail.

[0024] When applying the standard high-frequency (for example, 13.56MHz) plasma generating approach to the big plasma reactor which has the electrode (the longest dimension is larger than about 30 inches) of the equivalent large point, it becomes still more difficult to obtain rear-spring-supporter equal plasma allocation on the surface of an electrode. This is mainly based on the effect of the standing wave of an electrode surface, when the dimension approaches a part with the considerable wavelength of excitation voltage (appreciable fraction). These standing waves produce un-homogeneity electrical-potential-difference allocation as a result along with an electrode, and, thereby, bring about the non-uniformity of the plasma. However, if it is used instead of the small mosaic of the electrode insulated electrically being a single big electrode and RF energy is equally impressed to each component of a mosaic, it is possible to attain the quite equal plasma over a big electrode field. Drawing 8 shows the mosaic containing six rectangle electrodes 140 which have the power transmission line 142 with which each fitted into it and which were isolated electrically. These electrodes 140 are arranged on the insulating front face 145, and are constituted as a single dimension or 2-dimensional tile by

the desired magnitude and the desired configuration over application (the 2-dimensional thing is shown in drawing 8). The edge of the contiguity electrode 140 is positioned in the mutual dark space gap 144 (about 0.1 inches), and this bars the enhancement of the glow discharge in the gap 144 which is disadvantageous to glow uniformity. Power equivalent [if each electrode 140 is the thing of an equivalent field as shown in drawing 8] to all electrodes in order to realize the maximum plasma homogeneity should be distributed. Rough which was indicated by the quarter-wave length transmission-line allocation system or U.S. Pat. No. 4,887,005 shown here (Rough) A technique like a balun scheme can be used that it should harmonize with this demand in respect of a powered electrode equally. An electrode configuration like a triangle, a square, and a hexagon is also in the criteria of this invention.

[0025] In addition, it is foreseen that there may be use of the electrode 140 of un-EQC magnitude to specific application. In this case, it is only required to carry out the scale of the power sent to the electrode 140 according to each in the field of that electrode, and to be maintained as the dimension of the largest electrode is smaller than wavelength. The power allocation technique mentioned above about drawing 6 can be used to the power allocation to the electrode of different magnitude. Although it is most desirable to use the transmission line which has the electrical length of a quarter-wave length line, it is often impossible to get to know correctly of which die length the transmission line attains this die length most correctly beforehand with the cable loss and other parameters used as the cause which separates from a theoretical ideal. The experiment for determining the die length of a format [**** / the cable (it has the specific loss matched with the specific ingredient a dimension, and other parameters) which constitutes the quarter-wave length transmission line (die length determined experimentally)], or a product is a desirable approach for reaching an optimal result. It is experience of an artificer that the result considerably improved by change of that change of 5% or less of transmission-line die length from the die length determined experimentally supplies the equal plasma which has the power demand which can be received, and which can be received, and 2% or less of line die length is attained.

[0026] Although especially this invention was shown with reference to a certain desirable fixed example and it was explained, various alternatives and modification in form and details being made in it, and getting will be understood by this contractor. Therefore, it plans to cover all alternatives and modification that may have the attached claim in the true pneuma of this invention, and criteria.

[0027]

[Effect of the Invention] The multi-electrode plasma reactor of this invention A reactor chamber and RF generator, The electric adjustment network connected to RF generator, and two powered electrodes or more arranged in a reactor chamber, It has at least one separation transmission line connected between an adjustment network and each powered electrode. Each transmission line Since it has die length about equal to the quarter-wave length transmission line, the equal plasma controlled over two or more powered electrodes within the plasma chamber can be attained. When such equal plasma is generated, two or more electrodes act as one big electrode which has the rear-spring-supporter equal plasma in the whole field. Moreover, convenient impedance conversion can also be attained by supplying a current equal to each powered electrode by using equally the quarter-wave length transmission line which such an electrode of powered plurality and the electrode of the output of a standard adjustment network to a plasma reactor pass, respectively, and is emitted. The power allocation system of this invention has the 1st edge where each transmission line is electrically connected to said adjustment network at a common electrical installation point with other 1st edge of other transmission lines. Moreover, each transmission line It has the 2nd edge connected to one of the electrodes. Each transmission line Since it has the multi-electrode plasma reactor which are $N = 0, 1$ and 2 , and ..., and is the wavelength of the electrical potential difference on which λ has spread the inside of this transmission line and which has die length about equal to $\lambda(2N+1)/4$ When the equal plasma controlled over two or more powered electrodes within the plasma chamber can be attained and such equal plasma is generated, two or more electrodes act as one big electrode which has the rear-spring-supporter equal plasma in the whole field. Moreover, by supplying a current equal to each powered electrode, the transmission line which has all the die length of the quarter of the wavelength of the electrical potential difference which has spread the inside of the transmission line which such two or more electrodes by which the electric power supply was carried out equally, and the electrode of the output of a standard adjustment network to a plasma reactor pass, respectively, and is emitted equal odd times can also be included, and convenient impedance conversion can also be attained

by using it.

[0028] Furthermore, the approach of generating the rear-spring-supporter equal plasma to a big electrode surface relatively in the reactor chamber of this invention Establish and fit in two or more powered electrodes in a reactor chamber, and a powered electrode is estranged so that the gap below the dark space gap to the plasma formation conditions of a reactor chamber may be generated between the edge parts which each powered electrode adjoins. Since the phase which supplies power to each powered electrode through at least one quarter-wave length transmission line is provided so that the equal plasma may be generated over the joint front face of all electrodes While having the advantage which uses a single RF generator and a single AF-driving-power adjustment network It also has the water-cooled needlessness in the equal power allocation and high power effectiveness covering an electrode field, adjustment, and an allocation system, the ease of an assembly which has a critical non and assembly part, easy expandability, and the advantage of RF shielding demand which is not complicated.

[Translation done.]

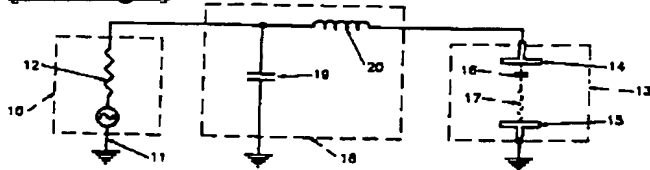
* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

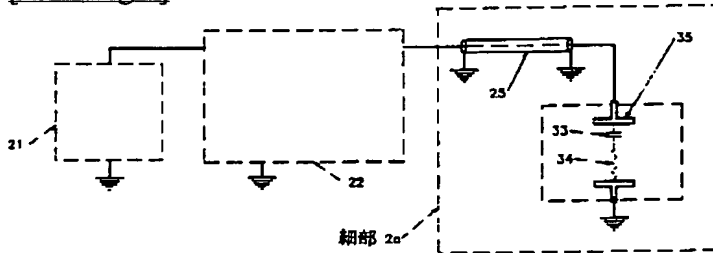
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

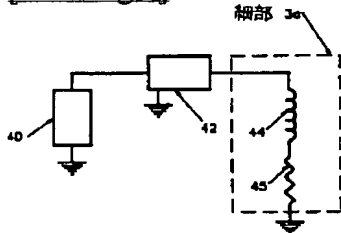
[Drawing 1]



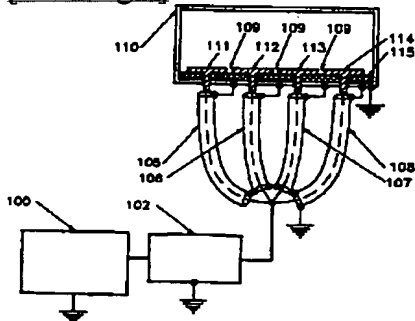
[Drawing 2]



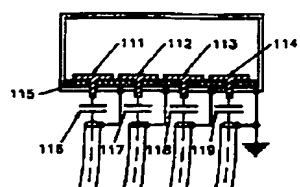
[Drawing 3]



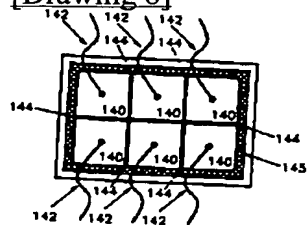
[Drawing 4]



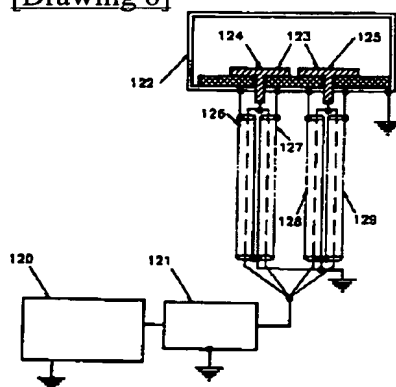
[Drawing 5]



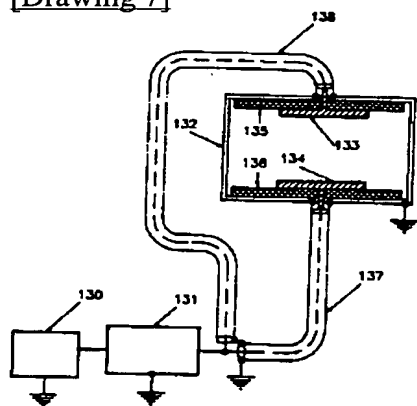
[Drawing 8]



[Drawing 6]



[Drawing 7]



[Translation done.]

特開平8-8096

(43) 公開日 平成8年(1996)1月12日

(51) Int. Cl. ⁶

H05H 1/46

識別記号

R 9216-2G

M 9216-2G

F I

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全9頁)

(21) 出願番号 特願平7-150204

(22) 出願日 平成7年(1995)6月16日

(31) 優先権主張番号 08/263283

(32) 優先日 1994年6月21日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 591021833

ザ ビーオーシー グループ インコーポ
レイテッド

アメリカ合衆国 ニュージャージー州 07

974ニュー プロヴィデンス マーリー

ヒル マウンテン アベニュー 575

(72) 発明者 フランク ド フランチェスコ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9430

1 パロ アルト ハイ ストリート 246
9

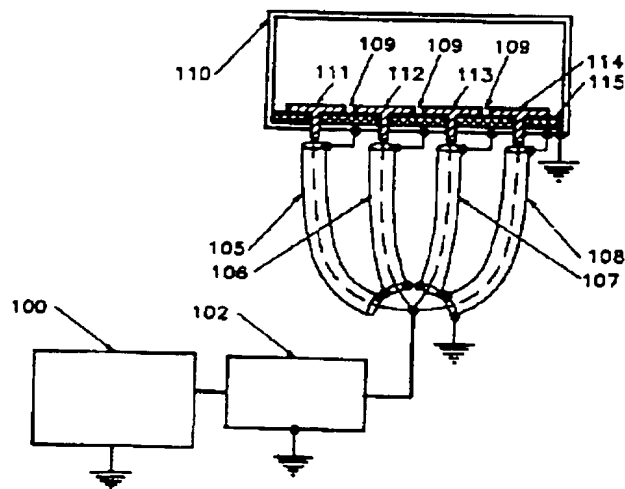
(74) 代理人 弁理士 中村 稔 (外6名)

(54) 【発明の名称】 4分の1波長送電線を用いる多極プラズマ・システムのための改善された電力配分

(57) 【要約】

【目的】 1/4波長伝送線の特性を利用して平衡電力を複数のパワード電極に供給する多重電極プラズマ・リアクタ電力スプリッタ及び送達システムを開示する。

【構成】 各電極は、 $N=0, 1, 2, \dots$ である、負荷整合ネットワークの出力における共通点に接続された、分離 $(2N+1)\lambda/4$ 波長ケーブルにより電力を供給される。プラズマ負荷を標準ネットワークにより更に効率的に整合されるものに変換するためにこれらの線のインピーダンス変換特性も採用される。また、ワーキング容積にわたりリアクティブ・プラズマの最大均等性を達成するために単一の大きなアクティブ電極を上述の配分スキームにより電力供給される小さなアクティブ電極に分割する技術も開示する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 リアクタ・チャンバと、RF 発生器と、前記 RF 発生器に接続された電気的整合ネットワークと、前記リアクタ・チャンバ内に配置された二つ以上のパワード電極と、前記整合ネットワークと各パワード電極の間に接続された少なくとも一つの分離伝送線とを備え、各伝送線は、 $1/4$ 波長伝送線におおよそ等しい長さを有することを特徴とする多極プラズマ・リアクタ。

【請求項 2】 二つ以上の伝送線は、少なくとも一つの電極に並列に接続されることを特徴とする請求項 1 に記載の多極プラズマ・リアクタ。

【請求項 3】 各伝送線の長さは、 $1/4$ 波長伝送線の実験的に決定された長さの 5% 以内であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の多極プラズマ・リアクタ。

【請求項 4】 各伝送線の長さは、 $1/4$ 波長伝送線の実験的に決定された長さの 2% 以内であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の多極プラズマ・リアクタ。

【請求項 5】 少なくとも一つの伝送線は、 $1/4$ 波長線でありかつ少なくとも一つの伝送線は、 $3/4$ 波長線であり、電極の対向ペアで電圧が 180° 位相がずれており、対向電極の間でプラズマを差分的に励起することを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれか一項に記載の多極プラズマ・リアクタ。

【請求項 6】 少なくとも二つの電極は、電極間でプラズマの形成を抑制するために十分小さい間隙によって分離されることを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれか一項に記載の多極プラズマ・リアクタ。

【請求項 7】 各伝送線が他の伝送線の他の第 1 の端と共に共通電気的接続点で前記整合ネットワークに電気的に接続される第 1 の端を有し、各伝送線は、電極の一つに接続される第 2 の端を有し、各伝送線は、 $N=0, 1, 2, \dots$ であり、かつ λ が該伝送線内を伝播している電圧の波長である、 $(2N+1)\lambda/4$ におおよそ等しい長さを有することを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に記載の多極プラズマ・リアクタを有する電力配分システム。

【請求項 8】 各電極は、同相で電力供給され、かつ各伝送線の長さは、 $K=0, 1, 2, \dots$ である、式 $K\lambda + \lambda/4$ から選択された値におおよそ等しいことを特徴とする請求項 7 に記載の多極プラズマ・リアクタを有する電力配分システム。

【請求項 9】 各電極は、同相で電力供給され、かつ各伝送線の長さは、 $L=0, 1, 2, \dots$ である、式 $L\lambda + 3\lambda/4$ から選択された値におおよそ等しいことを特徴とする請求項 7 に記載の多極プラズマ・リアクタを有する電力配分システム。

【請求項 10】 リアクタ・チャンバ内の相対的に大きな電極表面にわたり均等プラズマを生成する方法であって、リアクタ・チャンバ内の複数のパワード電極を定着して

嵌合し、

リアクタ・チャンバのプラズマ形成条件に対する暗黒部間隙以下の間隙が各パワード電極の隣接するエッジ部分間に生成されるようにパワード電極を離間し、均等プラズマが全ての電極の結合表面にわたり生成されるように、少なくとも一つの $1/4$ 波長伝送線を介して各パワード電極へ電力を供給する段階を具備することを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、プラズマ・リアクタ・システムの電極に電力を供給するデバイス及び方法に関し、特に、各電極への電力が平均化されるように複数のパワード電極 (powered electrodes) のそれぞれに嵌合された $1/4$ 波長伝送線を利用する RF 電力配分デバイス及び方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 多重電極 (以下、多極と略称する) 構造は、リアクタ・ボリュウム中で均等に励起されたプラズマを得るために大きなプラズマ・リアクタにおいて有利である。しかしながら、各電極へのエネルギーの均等配分は、容易には達成されない。これらの課題は、米国特許第 4,381,965 号、第 4,664,890 号及び第 4,887,005 号に論ぜられている。米国特許第 4,381,965 号及び第 4,664,890 号は、電極間の均等電力配分を達成すべく外部調整可能反応素子を介してリアクタ電極インピーダンスを平均化する方法を取り扱う。この技術の一つの欠点は、それが気体形式、圧力、温度、電力等のある単一なプラズマ条件でインピーダンスを平均化するだけのことであり、米国特許第 5,077,499 号は、リアクタ・インピーダンスを送電線インピーダンスに良く整合させるべく短いスタブ・チューニングまたは集中素子の使用により電力送達効率を最大化することを考慮する。それらの付随電力分割 (attendant power splitting) の争点を有する多極の示唆がない。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 プラズマ・リアクタ・チャンバは、サイズがスケール・アップされると、電極領域は、電極インピーダンスにおける合成減少を伴って必然的に増大する。これは、リアクタ・チャンバ負荷に RF 発生器を整合することの困難性を混ぜ合わせかつ電極供給線及び整合ネットワークにおける高電流による高い抵抗損失を結果として生ずる。複数のパワード電極を有するリアクタでは、個別電力供給線の非同一インピーダンスにより、各電極要素に送達された電力の平均化もまた更に困難になる。米国特許第 4,887,005 号において、Rough (ラフ) は、多極システムに送達される電力を平均化する電力配分の方法を述べている。N 電極リアクタでは、この方法は、非常に熱くなり、かつ水冷を必要としうる第 1 のコイルを通して全ての RF 電流が流れ

るバイナリー・トリー構造で構成された $N-1$ コイルを必要とする。多数の電極に対して、各レベルにおけるある電力損失を伴って、コイルの多重レベルが必要とされる。整合ネットワークから見た負荷は、全ての電極インピーダンスと大きなリアクタ・システムで必要な長いリード線からのかなりの漂遊インダクタンスの並列結合である；それゆえに、全ての電極電流は、整合ネットワークで合計される。この特徴は、整合ネットワークにおける高電流構成要素の使用及びそれらの付随コストを時々必要とする。別の欠点は、全ての電極に等しく RF エネルギーを配分することを望むならば、 2^N の電極を必要とする。

【0004】本発明の目的は、上述した従来技術の問題点に鑑み、電極の表面の大きさにわたり均等プラズマ特性を有する大きなアクティブ電極領域を生成するプラズマ・リアクタ電極構造を提供することである。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明の上記目的は、リアクタ・チャンバと、RF 発生器と、RF 発生器に接続された電氣的整合ネットワークと、リアクタ・チャンバ内に配置された二つ以上のパワード電極と、整合ネットワークと各パワード電極の間に接続された少なくとも一つの分離伝送線とを備え、各伝送線は、 $1/4$ 波長伝送線におおよそ等しい長さを有する多極プラズマ・リアクタによって達成される。本発明では、二つ以上の伝送線は、少なくとも一つの電極に並列に接続されるように構成してもよい。本発明では、各伝送線の長さは、 $1/4$ 波長伝送線の実験的に決定された長さの 5% 内であるように構成してもよい。本発明では、各伝送線の長さは、 $1/4$ 波長伝送線の実験的に決定された長さの 2% 内であるように構成してもよい。本発明では、少なくとも一つの伝送線は、 $1/4$ 波長線でありかつ少なくとも一つの伝送線は、 $3/4$ 波長線であり、電極の対向ペアで電圧の位相が 180° ずれて、対向電極の間でプラズマを差分的に励起するように構成してもよい。

【0006】本発明では、少なくとも二つの電極は、電極間でプラズマの形成を抑制するために十分小さい間隙によって分離されるように構成してもよい。また、上述した本発明の目的は、各伝送線が他の伝送線の他の第 1 の端と共に共通電氣的接続点で前記整合ネットワークに電氣的に接続される第 1 の端を有し、各伝送線は、電極の一つに接続される第 2 の端を有し、各伝送線は、 $N=0, 1, 2, \dots$ であり、かつ λ が該伝送線内を伝播している電圧の波長である、 $(2N+1)\lambda/4$ におおよそ等しい長さを有する多極プラズマ・リアクタを備えた電力配分システムによっても達成される。本発明では、各電極は、同相で電力供給され、かつ各伝送線の長さは、 $K=0, 1, 2, \dots$ である、式 $K\lambda + \lambda/4$ から選択された値におおよそ等しいように構成してもよい。本発明では、各電極は、同相で電力供給され、かつ

各伝送線の長さは、 $L=0, 1, 2, \dots$ である、式 $L\lambda + 3\lambda/4$ から選択された値におおよそ等しいように構成してもよい。ステム。

【0007】更に、上記本発明の目的は、リアクタ・チャンバ内の相対的に大きな電極表面にわたり均等プラズマを生成する方法であって、リアクタ・チャンバ内の複数のパワード電極を定着して嵌合し、リアクタ・チャンバのプラズマ形成条件に対する暗黒部間隙以下の間隙が各パワード電極の隣接するエッジ部分間に生成されるようにパワード電極を離間し、均等プラズマが全ての電極の結合表面にわたり生成されるように、少なくとも一つの $1/4$ 波長伝送線を介して各パワード電極へ電力を供給する段階を具備する方法によっても達成される。

【0008】

【作用】多重パワード電極を有するプラズマ・チャンバにおける均等プラズマ配分を達成するために、各伝送線の長さが、伝送線内を伝播している電圧の波長の $1/4$ の奇数倍である、最適化された伝送線が利用される。その表面にわたり均等プラズマ配分を有する大きな電極の効果は、同じ長さの $1/4$ 波長伝送線で電力供給される複数の電極セグメントを利用することによって生成される。代替実施例は、インピーダンス整合を容易にするために各電極に二つ以上の伝送線を利用し、かつ対向電極構成を差分的に励起するために、 $1/2$ 波長の奇数倍により長さが異なる、 $1/4$ 波長伝送線の奇数倍のものが利用される。本発明の上記及び他の目的、特徴及び利点は、添付した複数の図面を参照する好ましい実施例の下記の説明から明らかであろう。

【0009】

【実施例】プラズマ・チャンバ内で複数のパワード電極 (powered electrodes) にわたり制御された、均等プラズマを達成することが望ましい。そのような均等プラズマが生成されたときには、複数の電極は、その面全体にわたり均等プラズマを有する一つの大きな電極として作用すべく構成されうる。本発明は、各パワード電極に等しい電流を供給することによってそのような均等に電力供給された複数の電極と、標準整合ネットワークの出力からプラズマ・リアクタの電極のそれぞれへ放射されている $1/4$ 波長伝送線を用いることによって好都合なインピーダンス変換も達成する。 $1/4$ 波長伝送線は、伝送線内を伝播している電圧の波長の $1/4$ に等しい長さを有する (同軸ケーブルのような) 伝送線である。しかしながら、このアプリケーションでは、項目 “ $1/4$ 波長伝送線” の定義は、伝送線内を伝播している電圧の波長の四分の一のあらゆる奇数倍に等しい長さを有する伝送線も含むべく拡張される；即ち、一般に、 $(2N+1)\lambda/4$ であり、ここで、 λ は、線を通して伝播している電圧の波長で、 $N=0, 1, 2, \dots$ である。同位相 (以下、同相と称する) で電力供給される複数の電極に対して、受容可能な伝送線長さは、 $\lambda/4, \lambda + \lambda$

／4、そして一般に $k\lambda + \lambda/4$ 、ここで $k=0, 1, 2, \dots$ であることが従って理解されるべきである。加えて、同相電力配分は、長さ $3\lambda/4, \lambda + 3\lambda/4$ 、そして一般に $L\lambda + 3\lambda/4$ 、ここで $L=0, 1, 2, \dots$ を有する複数の伝送線を用いることによって同様に達成される。同相電極電力配分の重要な特徴は、伝送線のそれぞれが、電極に供給される電圧の位相に関して同等な長さを有することであり、かつ、上述したように、そのような伝送線の長さは、 $1/4$ 波長伝送線であるべくここに規定される。以下の簡単な解析は、 $1/4$

4波長伝送線の使用に対応付けられた利点を証明するために提供される。

【0010】 $1/4$ 波長無損失伝送線は、一端での負荷インピーダンス Z_{load} を他端で Z_{char}^2 / Z_{load} に変える。ここで、 Z_{char} は、伝送線特性インピーダンスである。 Z_{load} が複素インピーダンス $x - jy$ からなると想定すると、伝送線の中に見えている負荷は、以下のようになる：

【0011】

【数1】

$$Z_{source} = \frac{Z_{char}^2}{Z_{load}} = \frac{Z_{char}^2}{x - jy} \quad \text{式(1)}$$

実数部及び虚数部を得るために解くと：

【0012】

$$Z_{source} = \frac{Z_{char}^2}{x^2 + y^2} (x + jy) \quad \text{式(2)}$$

負荷から線の反対（対向）側の端に電圧 V を印加するならば、線に供給された電力は：

【0013】

20 【数3】

$$\begin{aligned} \text{Power} &= I^2 R = \left(\frac{V}{|Z_{source}|} \right)^2 \text{Re}(Z_{source}) \\ &= \frac{V^2}{|Z_{char}^2 \frac{(x + jy)}{x^2 + y^2}|^2} Z_{char}^2 \frac{x}{x^2 + y^2} \quad \text{式(3)} \end{aligned}$$

ここで、 $\text{Re}(Z_{source})$ は、変換された負荷インピーダンスの実数構成部分である。これは、以下のように簡略化される：

【0014】

【数4】

$$\left(\frac{V}{Z_{char}} \right)^2 x \quad \text{式(4)}$$

負荷端での電力は、無損失線の反対（対向）端の中への

V

$$I_{load}^2 x = \left(\frac{V}{Z_{char}} \right)^2 x \quad \text{式(5)}$$

または、

【0016】

【数6】

$$I_{load} = \frac{V}{Z_{char}} \quad \text{式(6)}$$

ここで、負荷電流は、伝送線の他の端に供給される電圧及び線の特性インピーダンスにのみ依存するということがわかる。従って、共通電圧ノード、この場合には整合ネットワークの出力に接続されたその端の一つを有する

電力に等しくなければならないので、次の質（クオリティ）を書くことができる：

【0015】

【数5】

多重 $1/4$ 波長伝送線は、終了のインピーダンスと独立にそれらの他端で同等な電流を全て供給する。それゆえに、複数の電極に対する供給線インピーダンスの相違は、電極への電力分割に最小の効果を有する。 $1/4$ 波長伝送線のインピーダンス変換特性は、電流ストレス及び電力損失並びにシステムのこの構成要素のコストを低減すべく整合ネットワークに対してより好都合な値まで特性プラズマ・インピーダンスを増大するために用いることができる。インピーダンス変換なしで電力が多数の電極に送達されたならば、共通配分点へのリード線は、

全電極電流の合計を搬送する。これは、容易に大きなシステムにおいて R F 電流の数百アンペアでありうる。付随損失及びそれによる加熱は、システムの設計者にとって重要な問題になる。しかしながら、 $1/4$ 波長伝送線は、上述したインピーダンス変換特性を有する、即ち、整合ネットワークは、それぞれが $Z_{in,r}^2 / Z_{1...n}$ の負荷を表わす線の並列セクションからなる負荷で動作する。ここで、 $Z_{1...n}$ は、 n 番目の電極の R F インピーダンスである。伝送線特性インピーダンスが負荷のインピーダンスの大きさよりも大きいならば、効果は、整合ネットワークが供給する $1/4$ 波長伝送線の端のインピーダンスを増大することである。これは、電流を減少しかつ整合ネットワーク構成要素における損失及び加熱を低減する。上述した説明から、インピーダンス変換を利用するために、整合ネットワークで見られる負荷インピーダンスの大きさの増加を達成するように線の特性インピーダンスを選択することが必要である、ということがわかる。しかしながら、あまりにも大きな変換率が選択されたならば、伝送線の定在波は、過大になり、かつさもなくば達成されるであろうよりも高い損失を結果としてもたらす。また、変換された負荷の並列結合のインピーダンスは、ネットワークが受け入れることができるよりも高くなりうる。従来技術で用いられる共通“L”ネットワークは、実部（実数部分）が発生源のソース・インピーダンスよりも大きい負荷に整合できない。伝送線インピーダンスは、並列な多重線を用いることによってある程度まで調整されうる。このファッションで用いられるときに、結合は、多数の線によって分割された単一線インピーダンスに等しい特性インピーダンスを有する一つの伝送線として作用する。

【0017】本発明は、プラズマ・リアクタ・チャンバの大きなアクティブ・プレーナ電極を、所望のアクティブ領域の表面を形成するようにきわめて接近して配置された、より小さな、個別に電力が供給される電極の配列に分割する技術も含む。これらの小さなプレートは、上述したように多数の $1/4$ 波長伝送線から R F エネルギーが供給される。この方法の利点は、アクティブ電極表面の個別領域が同等な電流を共有すべく拘束されて、それにより大きな領域の電極に電力を供給するときに遭遇するよく知られた影響（効果）を無効にする、即ち、グロー放電が電極のある一定の領域に位置決めされる傾向があり、同時に他の領域において放電現象があったとしてもほんの少しだけであるということである。これは、被加工物の大きさにわたる処理の非均等性を結果として生ずる。セグメント化された電極の有効な利用は、隣接

$$\frac{Z_{in,r}^2}{x^2 + y^2}$$

等価リアクタンス 44 は、同様に；

【0020】

する電極セグメント間の間隔が電極間のプラズマ形成を防ぐべく十分に密であることを必要とする；即ち、二電極間の暗黒部間隙(dark space gap)以下である。総電極領域が均等グロー放電を通常支持しうるそれよりも遙に大きいときでさえも、電極セグメント化のこの方法を用いて、電極全体にわたり均質均等(homogeneous uniform)グロー放電が達成される。上述した電力配分スキームとの組合せによるこの方法は、単一 R F 発生器及び単一変調電力整合ネットワークを使用する利点を有すると共に、電極領域にわたる均等な電力配分、高出力（高電力）効率、整合及び配分システムにおける水冷の不要、ノン・クリティカルな組立部分を有するアSEMBリの気楽さ、簡単な拡張性、及び複雑でない R F シールディング要求の利点をも有する。以下に添付した図面を参照して本発明の好ましい実施例を説明する。

【0018】図 1 は、一般的な従来技術の高周波数 R F 励起プラズマ・システムを示す。R F 発生器 10 は、一つの側 11 で接地されかつ一般に 50 オーム (Ω) のソース・インピーダンス 12 を有する。接地されたプラズマ・チャンバ 13 は、その間に放電が発生するパワード電極 14 と接地された電極 15 を含む。プラズマは、シース静電容量及びプラズマ抵抗を表しているファントム(phantom)で示された直列コンデンサ 16 及び抵抗 17 として電気的にモデル化できる。発生器からリアクタへ最大エネルギーを結合するために、プラズマ負荷を発生器インピーダンスまで変換するために整合ネットワーク 18 が用いられる。大きな電極表面領域で、等価プラズマ抵抗 17 は、50 オーム以下であり、L 型整合ネットワークがしばしば用いられる。これは、入力コンデンサ 19 と直列インダクタンス 20 を含む。整合ネットワークの特定のインプリメンテーション及びトポロジーは、重要ではないが、しかし説明のためにここでは L リアライゼーションを用いる。図 2 は、発生器 21 の出力、整合ネットワーク 22 及びパワード電極 35 に接続している $1/4$ 波長セクション 25 の追加を有する同等システムを示す。 $1/4$ 波長線 25 の変換効果(transforming effect)は、細部 2a の構成要素を等価回路で置換することによって説明される；等価回路は、図 3 に示す。図 3 では、発生器 40 は、直列インダクタ 44 及び抵抗 45 で表される細部 2a の等価負荷への最大電力転送のためにネットワーク 42 によって整合される。式 (2) を用いると、上述のように規定した記号を用いて等価抵抗 45 に対して次のように解くことができる：

【0019】

【数 7】

$$\frac{Z_{in,r}^2}{|Z_{1...n}|^2}$$

または

【数 8】

$$\frac{Z_{char}}{x^2 + y^2} y$$

10

であり、従って y が正の量なので誘導性である。記号 x 及び y は、細部 2 a の抵抗 3 4 及びコンデンサ 3 3 のインピーダンスに対応する。プラズマ負荷から整合ネットワーク出力へのインピーダンス変換率は、負荷インピーダンスの大きさに対する伝送線特性インピーダンスの割合 (比率) の 2 乗である。線よりも低いインピーダンスの負荷は、整合ネットワークにて変換されたインピーダンスの増大をもたらす、それゆえにネットワークにおける電流の低減の結果として生ずる。ある場合には、変換された負荷がここで誘導性なので、整合ネットワーク 4 2 の直列インダクタは、負または容量性リアクタンスを実際に有することが必要でありうる。これは、同調可能インダクタが可変コンデンサと直列な固定インダクタによってエミュレートされる一般的なネットワークにおいて容易に達成される。

【0021】図 4 は、本発明の 4 電極の実施例を示し、かつ上述した、セグメント化された、大きな電極のアプリケーションも表わす。RF 電力供給 (以下、RF 電源と称する) 1 0 0 は、整合ネットワーク 1 0 2 をフィードする。整合ネットワーク 1 0 2 の出力は、接地されたプラズマ・チャンバ 1 1 0 のセクション 1 1 1、1 1 2、1 1 3、及び 1 1 4 からなるセグメント化された電極に電力を配分する 4 つの $1/4$ 波長同軸線 1 0 5、1 0 6、1 0 7、及び 1 0 8 をフィードする。電極は、単一の大きな領域電極として機能するためにリアクタの内側に密に離間されている；即ち、パワー電極の隣接エッジ間の間隙 1 0 9 は、暗黒部間隙以下である。非導電性シート 1 1 5 は、チャンバ壁から電極を絶縁し支持する。同軸線のシールドは、一端でチャンバに接地されかつ他端で整合ネットワーク筐体に接続される。RF 電源が 1 3. 5 6 MHz で電力を発生すると仮定すると、その波長は、真空中で約 7 2. 6 フィート (約 2 2. 1 メータ) である。6 6 % の位相速度低減を有する RG 2 1 7 同軸ケーブルを利用すると、同軸ケーブル内の一全波の長さは、約 4 8 フィート (約 1 4. 6 メータ) であり、 $1/4$ 波長伝送線の長さは、約 1 2 フィート (約 3. 7 メータ) である。図 4 に示した構造を利用して、それぞれが 1 7 インチ (約 4 3. 2 センチメータ) \times 1 8 インチ (約 4 5. 7 センチメータ) の大きさの 4 つの電極が、各電極間で約 0. 1 インチの間隙を伴って並んで位置合わせされ、かつ 4 つの 1 2 フィート (約 3. 7 メータ) 同軸伝送線が整合ネットワークと 4 つの電極のそれぞれの間に接続されている。この電極構成の動作特性は、4 つの電極セグメント 1 1 1、1 1 2、1 1 3 及び 1 1 4 の結合表面領域の全体にわたり均等プラズマが生成されるようなものである。

【0022】図 5 は、図 4 に示したシステムの別の実施

例であるが、各個別電極にそれ自体の自己バイアス・ポテンシャルを想定させるべく各電極に DC 阻止コンデンサ 1 1 6、1 1 7、1 1 8、及び 1 1 9 を利用しているものを描く。これは、被加工物及び特に大きなサイズのチャンバのチャンバ壁における異常放電現象を防ぐことを援助することが見出された。適当な阻止コンデンサは、ニューヨーク州、ハンティントン・ステーション (Huntington Station) に有るアメリカン・テクニカル・セラミックス・コーポレーション (American Technical Ceramics Corporation) によって製造される磁器コンデンサ・モデル ATC 1 0 0 E のような、2, 0 0 0 から 1 0, 0 0 0 ピコファラッドの範囲の、低損失、高電流 RF コンデンサである。図 6 は、低特性インピーダンスのケーブルを得るための多重ケーブルの使用を示す。再度、発生器 1 2 0 は、整合ネットワーク 1 2 1 により変換された負荷に整合される。整合ネットワーク出力は、セクション 1 2 4 及び 1 2 5 を含む分割電極 1 2 3 を有するプラズマ・チャンバ 1 2 2 に供給される。電極 1 2 4 は、並列な二つの等しい長さの線 1 2 6 及び 1 2 7 から電力を受け取り、電極 1 2 5 は、これも並列な二つの等しい長さの線 1 2 8 及び 1 2 9 によって電力を供給される。図 6 に示した実施例を生成するために、図 4 に示しかつ上述した詳細な実施例は、二つの $1 7 \times 3 6$ インチ電極に電力を供給する二つの 1 2 フィート長同軸伝送線を利用すべく変更される。

【0023】図 7 は、発生器 1 3 0 及び整合ネットワーク 1 3 1 が以前のように構成されているが、しかし金属リアクタ・チャンバ 1 3 2 が絶縁プレート 1 3 5 及び 1 3 6 に配置された差分的に励起された電極 1 3 3 及び 1 3 4 からなる別の代替実施例を示す。整合ネットワーク 1 3 1 の出力は、一方が $1/4$ 波長の長さを有する 1 3 7、他方が $3/4$ 波長の長さを有する 1 3 8 の、二つの同軸伝送線 (1 3 7、1 3 8) を駆動する。 $3/4$ 波長伝送線の長さは、 $1/4$ 波長線よりも $\lambda/2$ の奇数倍長いものであるとしてここに規定される；即ち、線 1 3 8 は、線 1 3 7 よりも $(2M+1) \lambda/2$ 長い。ここで、 $M=0, 1, 2, \dots$ である。 $3/4$ 波長線の長さは、 $1/4$ 波長線の奇数倍のセットに含まれるので、電流共有及びインピーダンス変換特性が等しい。しかしながら、 $3/4$ 波長線の余分な半波遅延は、本実施例で差分的に電極を駆動するために用いられる 1 8 0 度の移相をもたらす。図 4 に示しかつ詳細に上述した特定の電源及び構成要素を利用して、図 7 に示した特定の実施例は、それぞれが 1 7 インチ \times 1 8 インチの大きさの対向矩形電極に電力を供給する、1 2 フィートの長さを有する第 1 の伝送ケーブル及び 3 6 フィートの長さを有する第 2 の伝送ケーブルを利用する。

【0024】標準高周波数 (例えば、1 3. 5 6 MHz) プラズマ発生方法を、同等の大きさの電極 (最も長い寸法が約 3 0 インチよりも大きい) を有する大きなプ

ラズマ・リアクタに適用するときには、電極の表面にわたり均等プラズマ配分を得ることがますます難しくなる。これは、その寸法が励起電圧の波長の相当な部分(appreciable fraction)に近づくときに、主に電極表面の定在波の影響による。これらの定在波は、電極に沿って非均一な電圧配分を結果として生じ、それにより、プラズマの非均等性をもたらす。しかしながら、小さな、電氣的に絶縁された電極のモザイクが単一の大きな電極の代わりに用いられ、かつRFエネルギーがモザイクの各素子に均等に印加されるならば、大きな電極領域にわたりかなり均等なプラズマを達成することが可能である。図8は、それぞれがそれに嵌合した電力伝送線142を有する、6つの電氣的に隔離された、矩形電極140を含むモザイクを示す。これらの電極140は、絶縁表面145に配置されかつアプリケーションに対する所望の大きさ及び形状により一次元または二次元のタイルとして構成される(二次元のものが図8に示されている)。隣接電極140のエッジは、互いの暗黒部間隙144(約0.1インチ)内に位置決めされて、これがグロー均等性に対して不利益であるような、間隙144におけるグロー放電のエンハンスメントを妨げる。図8に示すように、各電極140が同等な領域のものであるならば、最大プラズマ均質性を実現するために全ての電極に同等な電力が配分されるべきである。ここに示された1/4波長伝送線配分システムまたは米国特許第4,887,005号に記載されたようなラフ(Rough)のバラシスキームのような技術は、同等にパワー電極の点でこの要求と調和すべく利用できる。三角形、正方形及び六角形のような電極形状も本発明の範疇内である。

【0025】加えて、特定のアプリケーションに対する非同等な大きさの電極140の使用がありうることが予見される。この場合には、各個別電極140に送達された電力がその電極の領域でスケールされ、かつ最も大きい電極の寸法が波長よりも小さいままに維持されることだけが必要である。図6に関して上述した電力配分技術は、異なる大きさの電極への電力配分に対して利用することができる。1/4波長線の電氣的長さを有する伝送線を利用することが最も望ましいが、理論的な理想から離れる原因となるケーブル損失及び他のパラメータにより、どの長さの伝送線がこの長さを最も正確に達成するかということを正確に予め知ることがしばしば不可能である。1/4波長伝送線(実験的に決定された長さ)を構成する(その特定材料、寸法及び他のパラメータに対応付けられた、特定の損失、等を有する)ケーブルの特定な形式または製品の長さを決定するための実験は、最適結果に達するための好ましい方法である。実験的に決定された長さからの5%以下の伝送線長さの変化は、受容可能な電力要求を有する受容可能な均等プラズマを供給すること、及び2%以下の線長さの変化でかなり改善された結果が達成されることは、発明者の経験である。

【0026】本発明は、ある一定の好ましい実施例を参照して特に示されかつ説明されたが、フォーム及び細部における種々の代替及び変更がその中で行われうることは、当業者によって理解されるであろう。従って、添付した特許請求の範囲が本発明の真の精神及び範疇内にありうるような全ての代替及び変更を網羅することを企図する。

【0027】

【発明の効果】本発明の多極プラズマ・リアクタは、リアクタ・チャンバと、RF発生器と、RF発生器に接続された電氣的整合ネットワークと、リアクタ・チャンバ内に配置された二つ以上のパワー電極と、整合ネットワークと各パワー電極の間に接続された少なくとも一つの分離伝送線とを備え、各伝送線は、1/4波長伝送線におおよそ等しい長さを有するので、プラズマ・チャンバ内で複数のパワー電極にわたり制御された均等プラズマを達成することができ、そのような均等プラズマが生成されたときには、複数の電極は、その面全体にわたり均等プラズマを有する一つの大きな電極として作用する。また、各パワー電極に等しい電流を供給することによってそのような均等にパワー複数の電極と、標準整合ネットワークの出力からプラズマ・リアクタの電極のそれぞれへ放射されている1/4波長伝送線を用いることによって好都合なインピーダンス変換を達成することもできる。また、本発明の電力配分システムは、各伝送線が他の伝送線の他の第1の端と共に共通電氣的接続点で前記整合ネットワークに電氣的に接続される第1の端を有し、各伝送線は、電極の一つに接続される第2の端を有し、各伝送線は、 $N=0, 1, 2, \dots$ であり、かつ λ が該伝送線内を伝播している電圧の波長である、 $(2N+1)\lambda/4$ におおよそ等しい長さを有する多極プラズマ・リアクタを備えているので、プラズマ・チャンバ内で複数のパワー電極にわたり制御された均等プラズマを達成することができ、そのような均等プラズマが生成されたときには、複数の電極は、その面全体にわたり均等プラズマを有する一つの大きな電極として作用する。また、各パワー電極に等しい電流を供給することによってそのような均等に電力供給された複数の電極と、標準整合ネットワークの出力からプラズマ・リアクタの電極のそれぞれへ放射されている伝送線内を伝播している電圧の波長の四分の一のあらゆる奇数倍に等しい長さを有する伝送線も含むことができ、それを用いることによって好都合なインピーダンス変換を達成することもできる。

【0028】更に、本発明のリアクタ・チャンバ内の相対的に大きな電極表面にわたり均等プラズマを生成する方法は、リアクタ・チャンバ内の複数のパワー電極を定着して嵌合し、リアクタ・チャンバのプラズマ形成条件に対する暗黒部間隙以下の間隙が各パワー電極の隣接するエッジ部分間に生成されるようにパワー電極を

離間し、均等プラズマが全ての電極の結合表面にわたり生成されるように、少なくとも一つの $1/4$ 波長伝送線を介して各パワード電極へ電力を供給する段階を具備するので、単一 RF 発生器及び単一変調電力整合ネットワークを使用する利点を有すると共に、電極領域にわたる均等な電力配分、高出力効率、整合及び配分システムにおける水冷の不要、ノン・クリティカルな組立部分を有するアセンブリの気楽さ、簡単な拡張性、及び複雑でない RF シールディング要求の利点をも有する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】従来技術及び等価回路構成要素を有するリアクタ・チャンバで用いられるような標準高周波数発生器及び整合ネットワークを示す図である。

【図 2】システム・インピーダンスにおける $1/4$ 波長伝送線の効果に関する説明図である。

【図 3】図 2 の細部 2 a の等価回路である。

【図 4】4 つのセグメントに分割されかつ同様な数の $1/4$ 波長伝送線によって供給される電極を有するチャンバを示す一つの好ましい実施例の部分略図及び部分絵画

図である。

【図 5】独立電極 DC バイアスを許容する図 1 の代替実施例を示す図である。

【図 6】低特性インピーダンスを得べく並列に多重伝送線を利用する方法を示す図である。

【図 7】電極の差分的励起が、 $1/2$ 波長の長で異なる伝送線長さを用いることによって達成される技術を示す。

【図 8】その表面にわたり均等プラズマ配分を有する一つの相対的に大きな電極として機能すべく配置された相対的に小さい複数の電極を示す図である。

【符号の説明】

100 RF 電力供給 (RF 電源)

102 整合ネットワーク

105, 106, 107, 108 $1/4$ 波長同軸線

109 間隙

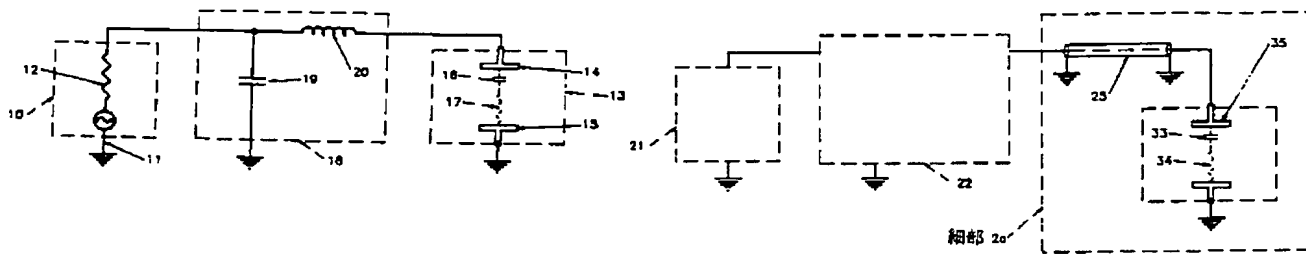
110 プラズマ・チャンバ

111, 112, 113, 114 セクション

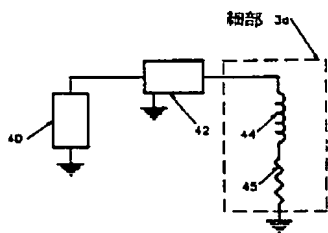
115 非導電性シート

【図 1】

【図 2】



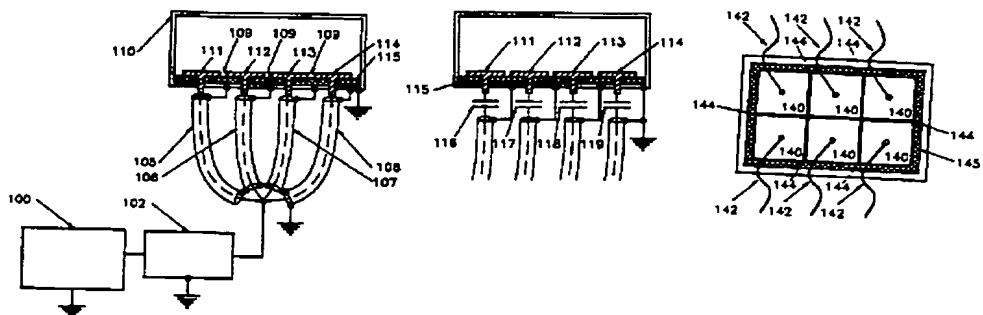
【図 3】



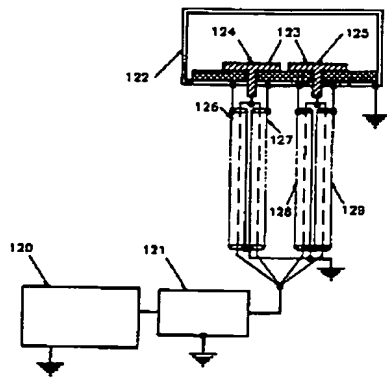
【図 4】

【図 5】

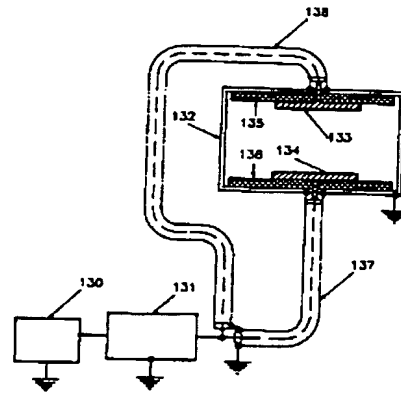
【図 8】



【図 6】



【図 7】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.